

## מטלה 2 – רובוטים אוטונומיים:

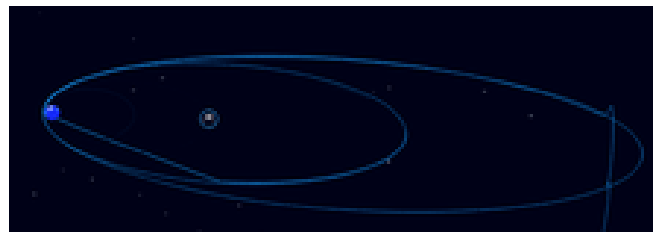
### חלק א' – הסיבות להתרסקות:

חללית בראשית בתחילת דרכה אל הירח עברה הקפות אליפטיות הולכות וגדלות סביב כדור הארץ, כך שהמעבר בין כל מסלול מתבצע בתמרון של הפעלת המנוע לזמן קצר של עד כמה דקות.

בתאריך ה-4 לאפריל חללית בראשית ביצעה את התמרון המסובך ביותר (חוץ מהנחיתה עצמה), שהוא הפעלת המנוע להאטה וכניסה למסלול סביב הירח עליו הייתה הנחיתה המתוכננת.

כעבור שבוע ועוד כמה תמרוני האטה החלה הנחיתה עצמה, בנחיתה זו הופעל המנוע שוב לבלימה כדי לאפשר לחללית לנחות ברכות וללא התרסקות.

בהתחלה הכול התנהל כשורה, אך בעשר הדקות האחרונות לפני הנחיתה החלה סדרת תקלות אשר הובילה לכיבוי המנוע ובסופו של דבר להתרסקותה של החללית על הירח.



מסלול בראשית סביב כדור הארץ (מיקומה במסלול לאחר התמרון השני)

הסיבות שהבילו להתרסקות בראשית נבעו מכמה כשלים שונים, חלק מן התקלות טמונות בתכנון המקורי של החללית, שהייתה נחשבת לקטנה מאוד ונבנתה בתקציב יחסית זעום למשימות חלל כאלו, תקציב של כ - 100 מיליון דולר כולל עלויות השיגור והתפעול. חלקן האחר היה טעויות אנוש.

## להלן הכשלים השונים:

- בחללית בראשית קיימות צמד מצלמות אשר תפקידן לצלם את השמיים, לזהות כוכבים מסויימים וכך לקבוע את הזווית של החללית במרחב, כלומר אם היא טסה "קדימה", "אחורה" או "על הצד", המצלמות נועדו לעזור לחשב את הזווית של החללית במרחב וזה דבר חשוב כי אם הזווית לא תחושב בצורה נכונה, אז החללית תסטה מהמסלול המתוכנן. להבנתנו הכשל שנגרם היה בעת ההיפרדות מטיל השיגור נחתו חלקיקי אבק על המגינים הכהים שאמורות להגן על צמד המצלמות מאור שמש ישיר, החזירו אור וסינוורו את צמד המצלמות וכך הן לא יכלו לבצע את החישוב כראוי.
- היה קיים סנסור לייזר אחד בלבד שבין היתר היה אחראי על הנחיתה על הירח, ייתכן כי היה בו כשל ולא היה קיים סנסור נוסף שיהווה תחליף.
- משימת בראשית הייתה נחשבת להיקף יחסית זעום ממה שנדרש בדרך כלל להצלחת משימות בסדר גודל כזה, מתוך נסיון התקדמות לפרוייקטים מהירים וזולים יותר. כתוצאה מכך נגרמו בעיות למשל כמה ימים לאחר השיגור אירעה תקלה שבה מחשב החללית אתחל את עצמו ללא צורך ודחה תמרון שנדרש כחלק מהתכנון. בעיה זו המשיכה בדרכה גם אל הירח, אשר קרה עקב חשיפה לקרינה חזקה בחלל (לחללית היה מיגון קרינה מינימלי ועם אז תפקודה של קופסת האלקטרוניקה שתפקידה לתווך בין המחשב למערכות החללית היה לקוי, זה בין היתר קרה כי הוא לא נבדק בתנאי החלל עקב התקציב וחללית קלה וקטנה.
- כשל נוסף של משימת חללית בראשית הוא שהיה בחללית רק מחשב אחד (עקב תקציב נמוך יחסית), לכן את הרחבות התוכנה שנועדו להתגבר על בעיות לא צרבו בזיכרון המחשב עצמו במהלך המשימה, אלא רק בזיכרון העבודה (RAM). לכן ההרחבות נמחקו בכל אתחול של המחשב, והיה צורך להעלות אותן שוב בקובץ הפקודות.
- ניתן לראות שהמהירות האופקית הולכת וגדלה שכנראה החללית הייתה במצב אנכי אך לא העריכו נכון את השיפוע שלה, כלומר חשבו שהחללית לא הייתה במצב אנכי אך כנראה היא כן הייתה ולכן כאשר המהירות האנכית הלכה וגדלה אז המהירות הודגשה כאשר הייתה קטנה מ-40 הייתה צבועה בצבע ירוק שמסמל מהירות אנכית

- תקינה אשר הופך להיות צהוב בין 40 ל-70 שמסמל אזהרה עבודה ולבסוף נהייה בצבע אדום אשר מסמל שהמהירות האנכית לא תקינה ע"פ המתוכנן.
- בעת ההנמכה של חללית בראשית אל פני הירח, כאשר המנוע פועל כל הזמן אז כבה מד התאוצה, המכונה IMU קיצור של (Inertial Measurement Unit). לחללית היו שני מדי תאוצה והיא יכלה לתפקד היטב עם אחד בלבד. כעת על הצוות לקבל החלטה מהירה - האם לגרום לחללית בראשית להמשיך עם IMU אחד תקין בלבד, ולקוות שלא יתקלקל גם הוא, או לנסות להפעיל את זה שכבה. ההחלטה הייתה שלהם הייתה להפעיל. אך עקב הלוגיקה התכנונית של בראשית, הפעלת מד תאוצה אחד חסמה לזמן קצר את העברת המידע ממד התאוצה התקין. ובמשך פחות משנייה המחשב לא קיבל נתוני תאוצה, לכן הכריז על תקלת ניווט, במקרה כזה הוא תוכנת לאתחל את עצמו (במשך כשתי שניות לאתחול). המחשב חזר לפעילות בלי הרחבות התוכנה, שעל פי קובץ הפיקוד של הנחיתה היו אמורות להיטען ליתר ביטחון כל דקה. כתוצאה מכך המחשב אתחל את עצמו שוב ושוב, ורק אחרי כחמישה אתחולים כאלה עלו לבסוף גם ההרחבות.
  - אתחולים אלו של המחשב גרמו לכיבוי המנוע הראשי של החללית, שבשלב הזה היה אמור לפעול כל הזמן על מנת להאט את הנחיתה על הירח. המחשב היה אמור להפעיל מיד את המנוע, אבל כאן השפיעה תקלה שהצוות ההנדסי גילה לפני השיגור אך לא הספיק לתקן. כדי להפעיל מחדש את המנוע, היה עליו לקבל מתח משני מקורות, אך בעקבות האתחול רק אחד מהם עבד ולכן המנוע הראשי לא נדלק. החללית המשיכה בנפילה אלכסונית לעבר הירח, כשרק מנועי הכיוון הקטנים ממשיכים לפעול, ואפילו שומרים על הכיוון הנכון שלה. חללית בראשית פגעה בקרקע של הירח במהירות של יותר מ-3,000 קמ"ש, וכנראה התרסקה לרסיסים.
  - כשל נוסף הוא בעקבות התקציב הזעום של הפרוייקט החללית לא נבדקה בתנאי חלל מה שגרם לסיכון גבוה לכישלון המשימה.